

Geofísica aplicada a la búsqueda de restos óseos en el Ecuador

Geophysics applied to the search for bone remains in Ecuador

Lucía Raquel Avilés Ponce¹; Maribel Elizabeth Cañar Muñoz²;
Mauricio David Reyes Pozo³; Christian David Mullo Aimacaña⁴
{lucy.aviles2010@hotmail.com; canarmaribel406@gmail.com;
mauriciodavidreyespozo@gmail.com; christian.mullo@igm.gob.ec}

Fecha de recepción: 2 de abril de 2020 — **Fecha de aceptación:** 25 de abril de 2020

Resumen: Una de las problemáticas sociales en América Latina son los altos índices de delincuencia que involucra desapariciones forzadas, Argentina y Colombia han desarrollado técnicas y métodos geofísicos relacionados a la Geología Forense para la búsqueda de personas desaparecidas, mientras que en Ecuador aún no existen estudios. Contribuir con la búsqueda de personas desaparecidas supuestamente enterradas aplicando el método geofísico georadar GPR (Ground Penetration Radar). Se realizó pruebas experimentales simulando condiciones de entierro en una fosa de un metro de profundidad en suelos no homogéneos, donde se colocó restos de un *Canis lupus familiaris* de 0.80 metros de largo, levantando radargramas en diferentes periodos de tiempo, el día de la simulación, uno y dos meses después, con una antena de 250 MHz. En tiempo real no se evidencia la zona de relleno ni la hipérbola generada por los restos óseos en los tres periodos de tiempo, en el procesamiento se obtuvo resultados favorables a partir de la segunda toma. En tiempo real la respuesta de los restos puede pasar desapercibidas ante la presencia de objetos altamente reflectivos (tubería de acero y roca) y la aplicación de filtros permitió resaltar los restos y la excavación.

Palabras clave — *Georadar, conductividad eléctrica, radargramas, frecuencia, ondas electromagnéticas.*

Abstract: One of the social problems in Latin America is the high crime rates that involve forced disappearances, Argentina and Colombia have developed geophysical techniques and methods related to Forensic Geology to search for missing persons, while in Ecuador there are no studies. Contribute to the search for missing persons allegedly buried by applying the GPR (Ground Penetration Radar) geophysical geophysical method. Experimental tests were

¹Ingeniera en Geología.
Instituto Geográfico Militar (IGM).

²Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.
Instituto Geográfico Militar (IGM).

³Máster of Geographical Information Science & Systems
Instituto Geográfico Militar (IGM).

⁴Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones; Magíster en Conectividad y Redes de telecomunicaciones
Instituto Geográfico Militar (IGM).

Cómo citar:

Avilés Ponce, L. R., Cañar Muñoz, M. E., Reyes Pozo, M. D., & Mullo Aimacaña, C. D. (2020). Geofísica aplicada a la búsqueda de restos óseos en el Ecuador. Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación, 4(34), 42-49. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss34.2020pp42-49>

performed simulating burial conditions in a pit one meter deep in nonhomogeneous soils, where remains of a *Canis lupus familiaris* 0.80 meters long were placed, raising radargrams at different periods of time, on the day of the simulation, one and two months later with a 250 MHz antenna. In real time the filling area and the hyperbola generated by the bone remains in the three periods of time are not evidenced, in the processing favorable results were obtained from the second take. In real time the response of the remains can go unnoticed in the presence of highly reflective objects (steel and rock pipe) and the application of filters allowed to highlight the remains and excavation.

Keywords — Georadar, electrical conductivity, radargrams, frequency, electromagnetic waves.

INTRODUCCIÓN

En América Latina existen alrededor de 90 000 personas desaparecidas según la Federación Latinoamericana de Asociaciones de Familiares de Detenidos Desaparecidos (Fedefam). En 1983 Perú registró 8 661 casos, México hasta el 2014 con 24 812 personas desaparecidas (Dulitzky, 2017), mientras que en Colombia en la actualidad suman alrededor de 75 000 desaparecidos, de las cuales se estima que alrededor de 21 000 son por desaparición forzada (Molina, 2016).

En Ecuador según las estadísticas de la Defensoría del Pueblo (2015), referente a la desaparición involuntaria en el año 2014 se han receptado 4 592 casos, de los cuales se ha resuelto el 91% (4 178) mientras que el 9% (414) se encuentran en proceso de investigación.

En virtud de esta problemática países como Estados Unidos, Argentina y Colombia se ha desarrollado técnicas y métodos geofísicos relacionados con la Geología Forense en la búsqueda de personas desaparecidas (Davenport, et al., 1992; Murray y Tedrow, 1992; Strongman, 1992; Pye y Croft, 2004; Ruffell y McKinley, 2008; Schultz, 2008), aumentando la posibilidad de hallazgo de restos óseos enterrados (Schultz y Martin, 2011; Sagripanti, Villalba, Aguilera, y Giaccardi, 2013; Ruffell, Pringle y Forbes, 2014; Enríquez y Rivas, 2015; Álvarez, 2017; Di Maggio, et al., 2017).

En Colombia los primeros ensayos empíricos para la ubicación de enterramientos clandestinos, fueron realizados mediante la aplicación de métodos geofísicos en fosas simuladas (Molina, Saumett y Romero, 2012; Molina, 2014; Molina, Pringle, Saumett y Hernandez, 2015; Molina, 2016;), debido a que, al momento de realizar un enterramiento se generan modificaciones en las condiciones naturales del terreno, lo que permite detectar anomalías generadas por los diferentes materiales encontrados en el subsuelo a través de técnicas geológicas geofísicas apropiadas (Aguilera, Giaccardi, Membrives, Carrara y De Grandis, 2006; ATSS, 2016). Uno de los principales métodos utilizados es el georadar o GPR (Ground Penetrating Radar) considerado actualmente como el más versátil en estudios superficiales del subsuelo (Annan, 1992; Daniels, 2004) por ser un método no invasivo, fácil de aplicar y altamente eficaz (Rojas, 2015).

En el Ecuador a pesar del índice de desaparecidos y la problemática social generada, todavía no se ha desarrollado estudios y métodos geofísicos relacionados con la Geología Forense, por lo cual se ha visto la necesidad de dar un aporte al desarrollo de la Geología Forense, evaluando la utilidad de un georadar con antena de 250 MHz en la ubicación de fosas clandestinas y la búsqueda de restos óseos.

METODOLOGÍA

Material

Para la prospección del subsuelo se utilizó un georadar Marca MALA con una antena blindada de 250 MHz. Está compuesto por una antena transmisora de ondas electromagnéticas (OEM), una antena receptora, una unidad de control y almacenamiento de datos (MALA GEOSCIENCE, 2005). Se basa en la propagación de un pulso electromagnético de muy corta duración (1-20 ns) con una frecuencia nominal que puede variar desde 10 MHz y los 2,5 GHz en función de la antena seleccionada (Rojas, 2015), este pulso de energía penetra en el subsuelo y al encontrar una discontinuidad parte de su energía se trasmite y otra se refleja siendo detectada por la antena receptora del equipo (Bonomo, y De la Vega, 2006), como se muestra en la Figura 1.

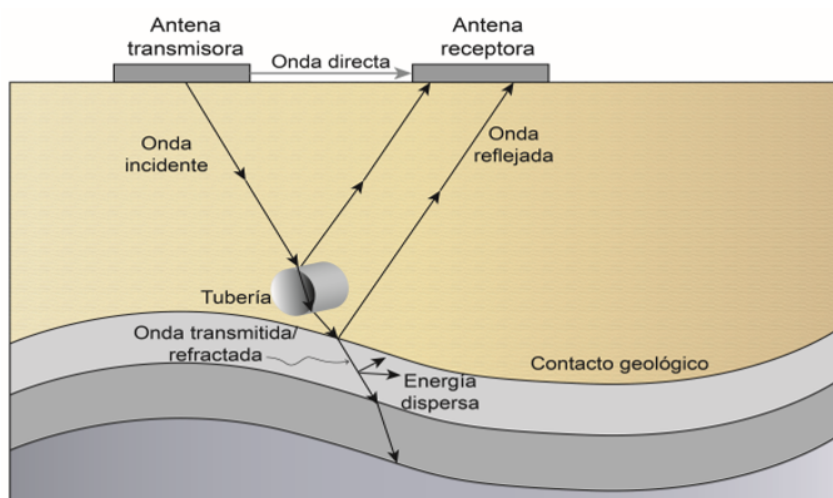


Figura 1. Esquema del funcionamiento del georadar

La profundidad de penetración y la velocidad de propagación de las OEM dependen de la conductividad eléctrica y la constante dieléctrica de los diferentes materiales presentes en el subsuelo según Molina, Claría, y Rinaldi (2008) y Goodman, y Piro (2013). Para el procesamiento de los radargramas se utilizó el software RadExplorer v. 1.41, de la empresa MALA GeoScience, el cual proporciona herramientas de procesamiento para mejorar la relación señal-ruido (DECO-Geophysical, 2005).

En este trabajo se describe la simulación de una fosa con restos óseos, tomando como objeto los restos de un *Canis lupus familiaris*, con deceso natural.

Procedimiento

La prospección fue realizada en la Provincia de Pichincha cantón Quito, en una zona con suelos heterogéneos (relleno), compuesta por pequeños fragmentos de material de construcción inmersos en una matriz franco arenosa, determinada mediante ensayo de campo según procedimiento establecido por la USDA (2014), donde se abrió una fosa de un metro de profundidad. Durante la excavación, a 50 cm se encontró una tubería de acero de 5 pulgadas de diámetro, permitiendo tener dos objetos de investigación continuos con diferentes propiedades dieléctricas según la Figura 2.

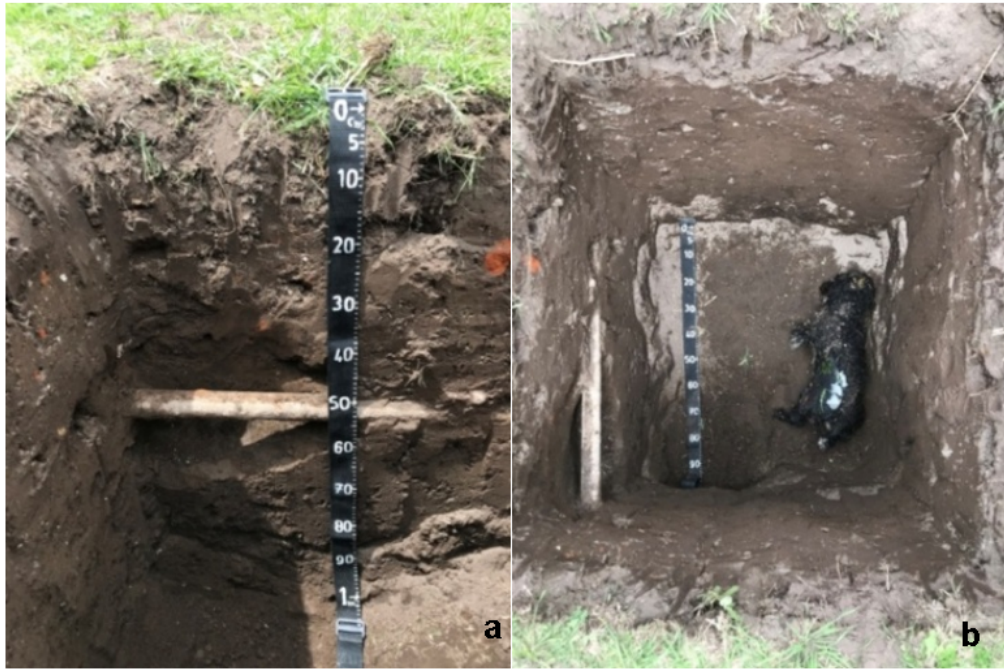


Figura 2. a) Excavación realizada, presencia de tubería de acero. b) Colocación del cuerpo dentro de la fosa

La velocidad con la que se desplazó el georadar fue 1 m/s aproximadamente, según estudios realizados por Annan, (2003). Mientras que el valor de la velocidad de penetración de las OEM corresponde a 101 m/ μ s, rango establecido por Goodman y Piro (2013) para suelos arenosos a franco arenosos.

El levantamiento de la información se lo realizó en tres periodos de tiempo diferentes:

- a. Primera toma: día del entierro, donde se diseñó un arreglo de líneas de investigación longitudinales y transversales, con una separación inicial de 68 cm, medida establecida por el ancho del georadar (Figura 3).

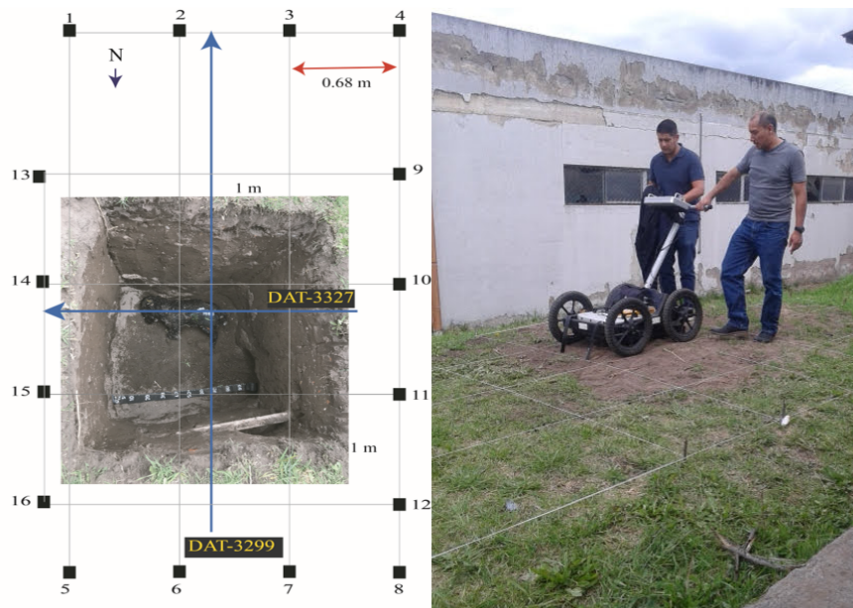


Figura 3. Líneas de investigación levantadas en la primera toma

- b. Segunda y tercera toma: realizadas un mes y dos meses posteriores al entierro respectivamente, donde se redujo la distancia de las líneas de investigación de 68 cm a 25 cm, distancia recomendada por Jiménez (2016) para la búsqueda de restos óseos (Figura 4).

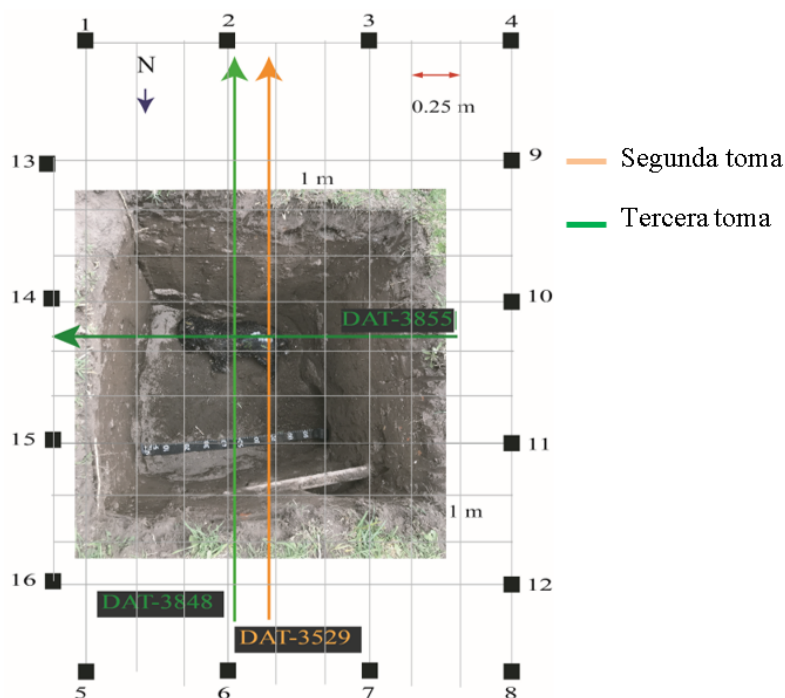


Figura 4. Líneas de investigación levantadas en la segunda y tercera toma

Para el procesamiento de datos de las tres tomas se aplicó la rutina: DC Removal (Gutiérrez, 2004), Time Zero Adjustment (Rojas, 2015), Amplitud Correction (ganancia) (Broseta, 2010), bandpass Filtering, Background Removal (Annan, 2003), 2D Spatial Filtering (Annan, 2003), y Predictive Deconvolution, (Bonomo y De la Vega, 2006).

RESULTADOS

En tiempo real

Primera toma: en el DAT- 3299(transversal) no se aprecia la zona de relleno ni la anomalía causada por los restos, pero se evidencia una hipérbola bien marcada por la tubería metálica y una anomalía superficial correspondiente a una roca (Figura 5A), mientras que, en el DAT-3327 (longitudinal) donde no existe un cuerpo altamente reflectivo como el caso de la tubería, no se visualiza ninguna anomalía relacionada con los restos ni evidencia de suelo removido como se indica en la Figura 5B.

Segunda toma: en el DAT-3529 se aprecia una hipérbola muy tenue, que corresponde a los restos óseos, coincidiendo con las mediciones realizadas al momento del entierro (Figura 5C).

Tercera toma: el DAT-3348 (transversal) muestra dos hipérbolas correspondientes a la tubería y a una roca superficial, la anomalía reflejada por la tubería enmascara la respuesta de los restos óseos los cuales producen una hipérbola casi imperceptible (Figura 5D), en tanto en el DAT-3855 (longitudinal) de la misma manera no se visualiza con claridad la anomalía producida por los restos representados en la Figura 5E.

Procesamiento de datos

Con la aplicación de la rutina (filtros y correcciones) antes descrita se determinó:

Primera toma: en el DAT- 3299 ya se puede visualizar el suelo removido y la hipérbola de la tubería es más marcada, pero esta sigue enmascarando a los restos (Figura 5F); en el DAT-3327 también se evidencia el suelo removido, pero no así la anomalía de los restos (Figura 5G).

Segunda toma: (DAT-3529) se reflejan mejor las hipérbolas de la tubería y de los restos óseos Figura 5H.

Tercera toma: (DAT-3348) se muestra dos hipérbolas bien marcadas correspondientes a la tubería y a la roca superficial y ya es visible una tercera hipérbola asociada a los restos óseos (Figura 5I), mientras que en el DAT-3855 la hipérbola de los restos es más marcada por lo que se visualiza con más facilidad en la Figura 5J.

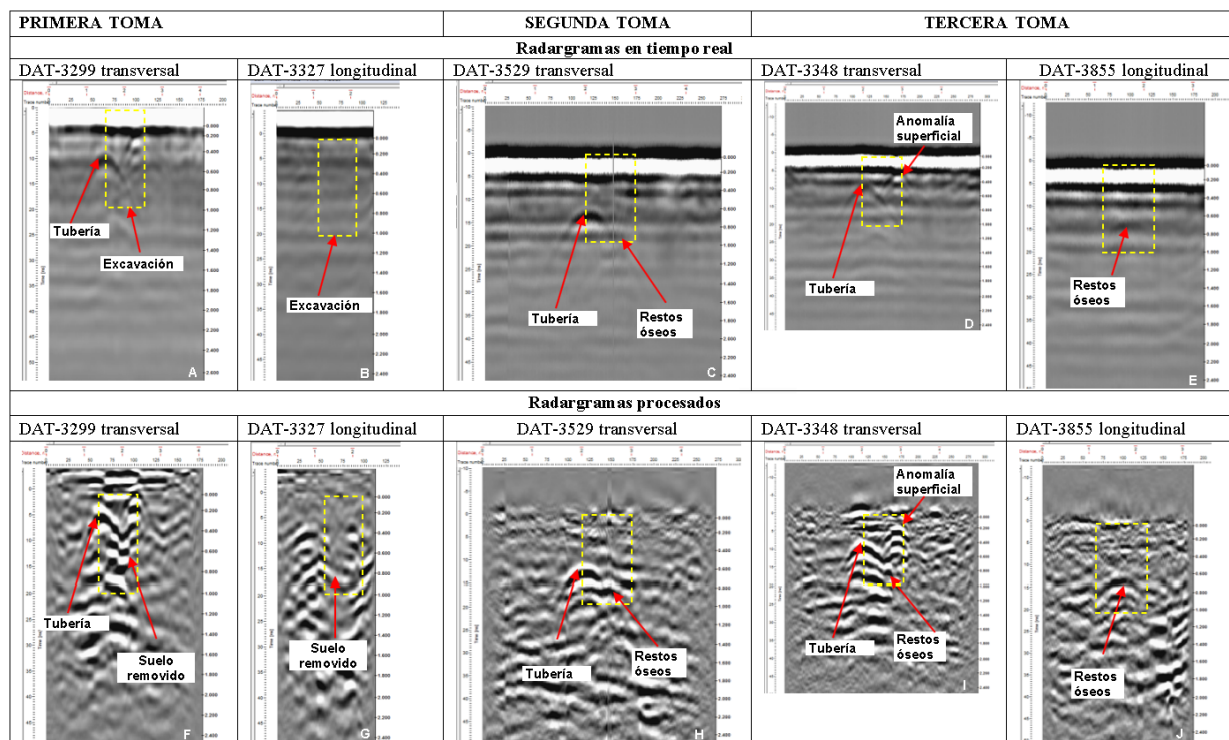


Figura 5. Radargramas levantados y procesados

CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN

En tiempo real, la prospección con una antena de 250 MHz en zonas no homogéneas (rellenos) no se visualiza la remoción del suelo y tampoco anomalías producidas por los restos óseos (de dimensiones 80 x 30 cm) en los primeros días de enterrado el cuerpo, y más aún cuando se encuentra junto o bajo un objeto altamente reflectivo (tubería metálica y roca) que enmascara la señal, por lo tanto en prospecciones en tiempo real estas anomalías podrían pasar por alto, coincidiendo con las investigaciones realizadas por Molina (2016), quien con un GPR de 250 MHz determinó que en fosas hechas a 0,80 metros se puede evidenciar la remoción del suelo y restos óseos pero solo después de 38 semanas.

Mediante la aplicación de los filtros y correcciones para mejorar la señal y ruido de los radargramas levantados se logró apreciar de mejor manera la anomalía causada por los restos óseos en la tercera toma, sin embargo, estas anomalías siguen siendo muy pequeñas y se las puede confundir fácilmente con elementos aledaños (fragmentos de material de construcción), contrariamente con la primera toma donde la aplicación de la rutina solo permitió visualizar de mejor manera el suelo removido.

En el caso de los radargramas transversales en las tres tomas, la aplicación de la rutina establecida permitió resaltar las anomalías de la tubería y la roca, en cuanto a los restos óseos estos se observan únicamente en la segunda y tercera toma siendo casi imperceptibles por sus dimensiones, mientras que al utilizar la rutina de Molina et al. (2015) quien optimiza la calidad de la imagen a través de

filtros, no se obtuvo resultados favorables para la determinación de las anomalías de los restos óseos del *Canis lupus familiaris* ni del suelo removido.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que, con un georadar con antena de 250 MHz en zonas de rellenos y ante la presencia de objetos altamente reflectivos no es posible diferenciar las anomalías causadas por restos óseos de dimensiones 80 x 30 cm, por lo cual se recomienda realizar pruebas experimentales utilizando antenas de mayor frecuencia (> 500 MHz) y aplicar la rutina propuesta para resaltar las respuestas de restos óseos y suelo removido en radargramas de mejor resolución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, D., Giaccardi, A., Membrives, A., Carrara, M. T., y De Grandis, N. (2006). Geofísica aplicada a la arqueología de “Santa Fe La Vieja”. Arqueología de los siglos XVI y XVII”, I Congreso Argentino de Arqueometría, Santa Fe, Argentina, pp. 493-501.
- Álvarez, J. (2017). Geología forense y el desarrollo de este campo en Chile, con iluminación por casos de estudio, Tesis de grado, Departamento de geología, Universidad de Chile, Santiago de Chile. <http://bit.ly/34LQ2s1>
- Annan, A. (1992). Ground penetrating radar Workshop Notes Sensors and Software, Inc., Mississauga, ON, Canada.
- Annan, A. (2003). Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications, Mississauga, Canadá: Sensor & Software Inc. <http://bit.ly/2PXH0E8>
- ATSS (2016). Científicos Forenses: Cómo hacer que un desaparecido aparezca, [Online] Agencia TSS, Universidad Nacional de San Martín. Available: <http://bit.ly/34A5GGC>
- Bonomo, N., y De la Vega, M. (2006). El método de georadar, Arqueofísica, National University of Saint Augustine. pp. 75-105.
- Broseta, G. (2010). Georadar aplicado a la arqueología”, tesis de pregrado, Departamento de ingeniería técnica topográfica, Universidad Politécnica de Cataluña, Valencia, España. <http://bit.ly/36IObFT>
- Chávez, E. (2018). Institucionalización de una política pública: El caso de las personas desaparecidas en Ecuador, Trabajo de investigación previa a la obtención del título de politóloga, Facultad de Ciencias Sociales y Comunicación, UIDE, Quito, UIO. <http://bit.ly/2K2XkQ8>
- Daniels, D. (2004). Ground Penetrating Radar, 2nd edition, London: IEE. <http://dx.doi.org/10.1049/pbra015e>
- Davenport, G.C., France, D.L., Griffin, T.J., Swanburg, J.G., Lindemann, J. W., Trammell, V., Armbrust, C.T., Kondrateiff, B., Nelson, A., Castellano, K., y Hopkins, D. (1992). A multidisciplinary approach to the detection of clandestine graves. Journal of Forensic Sciences, JFSCA, vol. 37, no. 6, pp. 1445-1458. <http://bit.ly/32vIyaI>
- DECO-Geophysical (2005). User Manual The software for GPR data processing and interpretation RadExplorer 1.4., Moscow: Springer. <http://bit.ly/2qCMj0Q>
- Defensoría Del Pueblo. (2015). Informe temático sobre las personas desaparecidas en el Ecuador: Análisis de respuestas estatales, estadísticas, acceso a la justicia y contexto socio cultural de la problemática 2013-2014, Defensoría del Pueblo, Quito. <http://bit.ly/2O0bdRj>
- Di Maggio, R., Donnelly, L., Al Naimi, K., Barone, P., Da Silva, F., Dawson, L., y Forbes, S. (2017). Global developments in forensic geology. Research Gate, vol. 40, no. 2, pp. 120-131. <http://bit.ly/32tboZt>
- Dulitzky, A. (2017.) Derechos humanos en Latinoamérica y el sistema interamericano modelos

- para (des)armar. 1st. Ed. México: Editorial del Instituto de Estudios Constitucionales del Estado de Querétaro. <http://bit.ly/2CtzA3r>
- Goodman, D., y Piro, S. (2013). GPR Remote Sensing in Archaeology, Springer. Vol. 9. <http://bit.ly/2NW6m2m>.
 - Gutiérrez, J. (2004). Análisis del subsuelo utilizando técnicas geofísicas. Sistema georadar RAMAC/GPR. VII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, Madrid, pp. 1-17.
 - Jiménez, V. (2016). Caracterización Arqueológica en el Parque San Felipe El Fuerte, Estado Yaracuy, usando el método del georadar”, (tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.
 - MALA GEOSCIENCE, (2005). User Manual RadExplorer 1.4. The software for GPR data processing and interpretation. Manual de usuario. www.malags.com
 - Molina, C. (2014). Aportes de la geología forense en la investigación criminal en Colombia, Geología Colombiana, vol.37, no. 1, pp.171-178. <http://bit.ly/2X6XXxv>
 - Molina, C.M. (2016). Metodología para la búsqueda de fosas a partir de la interpretación de anomalías en los datos obtenidos mediante la aplicación de geofísica de alta resolución, Tesis Doctoral, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://bit.ly/2NXPMzn>
 - Molina, G., Claría, J., y Rinaldi, V. (2008). Procesamiento de Imágenes de Geo-Radar Obtenidas en Escenarios con Múltiples Reflectantes Superficiales”.Conference Paper. <http://bit.ly/2rbD5Jy>
 - Molina, C.M., Pringle, J.K., Saumett, M., y Hernandez, O. (2015). Preliminary results of sequential monitoring of simulated clandestine graves in Colombia, South America, using ground penetrating radar and botany”, Forensic Science International, vol. 248, No 1, pp. 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.12.011>
 - Molina, C. M., Saumett, M., y Romero, W. (2012). Using GPR to search mass graves. Applied and Environmental.
 - Murray, R. C., y Tedrow, J.C.F. (1992). Forensic geology: Earth sciences and criminal investigation. New Jersey: Prentice Hall. <http://bit.ly/2Q1h1eJ>
 - Pye, K., y Croft, D. (2004). Forensic Geoscience: Principles, techniques and applications. London: Cromwell Press, UK. <http://bit.ly/2NwrVrx>
 - Rojas, C. (2015). Adquisición, procesamiento e interpretación de datos de georadar aplicados a una refinería de petróleo, (tesis de pregrado). Departamento de ingeniería geofísica, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Ven. <http://bit.ly/33zSHEF>
 - Ruffell, A., y McKinley, J. (2008). Geoforensics. Belfast: John Wiley and Sons. <http://bit.ly/2NBKw5n>
 - Ruffell, A., Pringle, J.K y Forbes, S. (2014). Search protocols for hidden forensic objects beneath floors and within walls, Forensic Science International, vol. 237, no. 1, pp.137-145. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.12.036>
 - Sagripanti, G., Villalba, D., Aguilera, D., y Giaccardi, A. (2013). Geología Forense: Métodos aplicados en la búsqueda de desaparecidos en la región central de Argentina, Revista de la Asociación Geológica Argentina, vol.70, no1, pp.150-160. <http://bit.ly/2q2NoPA>
 - Schultz, J. J. y Martin, M. M. (2011). Controlled GPR grave research: comparison of reflection profiles between 500 and 250 MHz antennae”. Forensic Science International, vol. 209, No. 1-3, pp. 64-69. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.12.012>
 - Strongman, K.B. (1992). Forensic applications of ground penetrating radar; in Ground penetrating radar”. Geological Survey of Canada, vol. 90, No. 4, pp. 203-221. <https://doi.org/10.4095/133664>
 - USDA (2014). Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture. <https://bit.ly/32UoNLQ>